

# PIECE DE PALIER, PROCEDE DE TRAITEMENT THERMIQUE D'UN TELLE PIECE DE ROULEMENT

**Publication number:** FR2841907

**Publication date:** 2004-01-09

**Inventor:** OHKI CHIKARA

**Applicant:** NTN TOYO BEARING CO LTD (JP)

**Classification:**

**- international:** **C21D1/78; C21D9/40; C23C8/32;  
C23C8/80; F16C33/30; F16C33/62;  
C21D9/36; C21D1/78; C21D9/40;  
C23C8/06; C23C8/80; F16C33/30;  
F16C33/62; C21D9/36; (IPC1-7): C21D9/40;  
C23C8/32; F16C33/30**

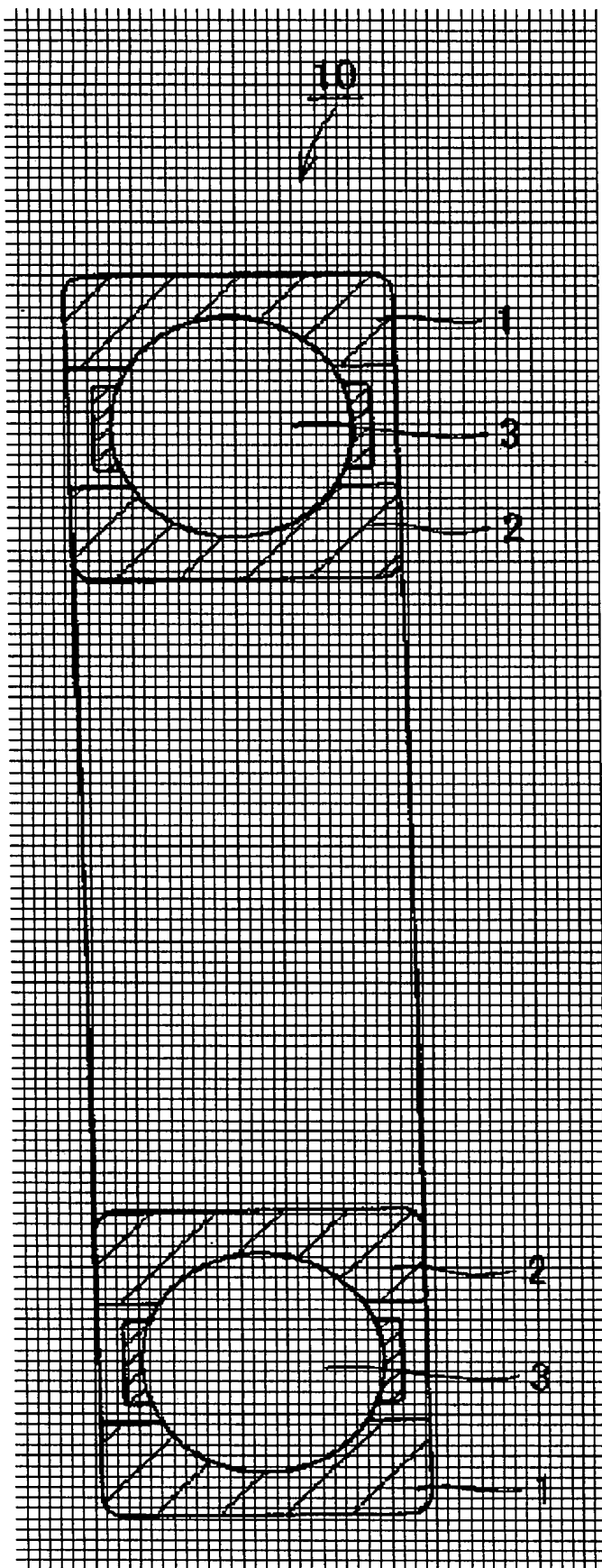
**- European:** C21D1/78; C21D9/40; C23C8/32;  
C23C8/80; F16C33/30; F16C33/62

**Application number:** FR20030006034 20030520

**Priority number(s):** JP20020194921 20020703;  
JP20020194804 20020703;  
JP20020194793 20020703;  
JP20020194775 20020703

**Report a data error here**

Abstract not available for FR2841907



Data supplied from the **esp@cenet** database - Worldwide

①⑨ RÉPUBLIQUE FRANÇAISE  
INSTITUT NATIONAL  
DE LA PROPRIÉTÉ INDUSTRIELLE  
PARIS

①⑪ N° de publication :  
(à n'utiliser que pour les  
commandes de reproduction)

2 841 907

②① N° d'enregistrement national : 03 06034

⑤① Int Cl<sup>7</sup> : C 21 D 9/40, C 23 C 8/32, F 16 C 33/30

⑫

## DEMANDE DE BREVET D'INVENTION

A1

②② Date de dépôt : 20.05.03.

③③ Priorité : 03.07.02 JP 02194921; 03.07.02 JP  
02194804; 03.07.02 JP 02194793; 03.07.02 JP  
02194775.

④③ Date de mise à la disposition du public de la  
demande : 09.01.04 Bulletin 04/02.

⑤⑥ Liste des documents cités dans le rapport de  
recherche préliminaire : *Ce dernier n'a pas été  
établi à la date de publication de la demande.*

⑥⑥ Références à d'autres documents nationaux  
apparentés :

⑦① Demandeur(s) : NTN CORPORATION — JP.

⑦② Inventeur(s) : OHKI CHIKARA.

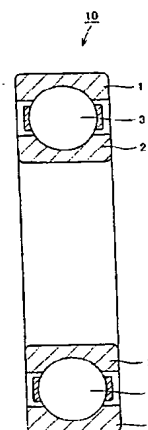
⑦③ Titulaire(s) :

⑦④ Mandataire(s) : CABINET PLASSERAUD.

⑤④ PIÈCE DE PALIER, PROCÉDÉ DE TRAITEMENT THERMIQUE D'UNE TELLE PIÈCE DE ROULEMENT.

⑤⑦ Ce procédé consiste à réaliser une carbonituration d'acier pour une pièce de palier, formée d'une bague de roulement (1, 2) et/ou d'un élément roulant (30), à une température de carbonituration dépassant la température de transformation A1, refroidir l'acier à une température inférieure à la température de transformation, et réchauffer l'acier à une température pour une trempe qui n'est pas inférieure à ladite température de transformation A1 mais est inférieure à la température de carbonituration, et effectuer la trempe de l'acier.

Application à la fabrication de roulements pour compresseurs d'automobiles.



FR 2 841 907 - A1



PIECE DE PALIER, PROCEDE DE TRAITEMENT THERMIQUE D'UNE  
TELLE PIECE DE ROULEMENT

5           La présente invention concerne des roulements destinés à être utilisés dans des compresseurs d'automobiles et autres, des pièces de palier utilisés dans de tels roulements et des procédés de traitement thermique de telles pièces.

10           Dans un procédé de traitement thermique, comme moyen visant à garantir une longue durée de vie d'une pièce de palier vis-à-vis d'une fatigue par contact roulant, on soumet une portion formant couche de surface de la pièce de palier à une carbonitruration en utilisant du gaz ammoniac,  
15           auquel est ajouté par exemple le gaz RX atmosphérique pour le chauffage (comme cela est décrit par exemple dans les demandes de brevet japonais mises à l'inspection publique N° 8-4774 et 11-101247). Cette carbonitruration durcit la portion formant couche de surface et produit en outre de  
20           l'austénite résiduelle dans la microstructure, ce qui améliore la durée de vie avec résistance à la fatigue par contact roulant.

          Cependant, étant donné que la carbonitruration implique une diffusion, la pièce de palier doit être  
25           maintenue à une température élevée pendant un long intervalle de temps, ce qui peut rendre plus grossière la microstructure, en rendant difficile une amélioration de la résistance à la fissuration. En outre il se pose un autre problème lié à un accroissement de la variation des  
30           dimensions avec le vieillissement sous l'effet de l'accroissement de l'austénite résiduelle.

          Il est possible d'utiliser un acier allié pour garantir une longue durée de vie avec résistance à la fatigue par contact roulant, améliorer la résistance vis-à-  
35           vis de la fissuration et empêcher l'accroissement de la

modification des dimensions. Cependant l'utilisation de l'acier allié augmente le coût en matière première.

Etant donné que l'environnement d'utilisation des paliers est devenu de plus en plus sévère, les pièces de palier futures devront être utilisées dans des conditions d'une charge et d'une température plus élevées que dans le cas classique. A cet effet, il est nécessaire de disposer d'une pièce de palier possédant une longue durée de vie avec résistance à la fatigue par contact roulant, une résistance élevée vis-à-vis de la fissuration et une excellente stabilité dimensionnelle.

Un but de la présente invention est de fournir une pièce de palier possédant une longue durée de vie, de résistance à l'encontre de la fatigue par contact roulant, une excellente résistance à la fissuration et un accroissement limité des changements de dimensions liés au vieillissement, un procédé de traitement thermique d'une telle pièce et un roulement incluant la pièce de palier.

Ce problème est résolu conformément à l'invention à l'aide d'un procédé de traitement thermique d'une pièce de palier, caractérisé en ce qu'il comprend les étapes consistant à:

réaliser la carbonitruration d'acier pour une pièce de palier à une température de carbonitruration dépassant la température de transformation,

refroidir l'acier à une température inférieure à la température de transformation,

réchauffer l'acier à une température de trempe qui n'est pas inférieure à ladite température de transformation, mais est inférieure à la température de carbonitruration, et

effectuer la trempe de l'acier.

Avec ces dispositions, la trempe finale est exécutée après que l'acier ait été refroidi à une température inférieure à la température de transformation

A1, à la suite de la carbonitruration, de sorte que la taille des grains d'austénite peut être rendue fine. Il en résulte qu'il est possible d'améliorer la résilience Charpy, la résistance à la rupture, la résistance à la fissuration, la durée de vie de stabilité, la résistance à la fatigue par contact roulant et autres.

En outre, en refroidissant l'acier à une température permettant une transformation de l'austénite, il est possible de réaliser les limites des grains d'austénite à l'instant de la carbonitruration et les limites des grains d'austénite au moment de la trempe finale, indépendantes les unes des autres. En outre, étant donné que la température de chauffage pour la trempe finale est inférieure à celle de la carbonitruration, les quantités de carbures et de nitrures non dissous dans la portion formant couche superficielle affectée par la carbonitruration deviennent plus importantes lors de la trempe finale que lors de la carbonitruration. Ainsi, à la température de chauffage prévue pour la trempe finale, le rapport des quantités de carbures non dissous et d'autres éléments non dissous augmente et le rapport de la quantité d'austénite diminue par rapport aux quantités obtenues au moment de la carbonitruration. En outre, à partir du diagramme de phase carbone-fer (qui est applicable avec une précision assez élevée, bien que l'acier en tant qu'objet de la présente invention inclut des éléments autres que le carbone), dans la région de coexistence des précipités indiqués ci-dessus et de l'austénite, la concentration de carbone dissous dans l'austénite diminue lorsque la température prévue pour la trempe diminue.

Lorsqu'on chauffe l'acier à la température prévue pour la trempe finale, la quantité de cémentite non dissoute réduisant la croissance des grains d'austénite devient élevée de sorte qu'on obtient des grains fins d'austénite. En outre, étant donné que la structure

transformée, passant de l'austénite à la martensite ou à la bainite sous l'effet de la trempe, possède une teneur en carbone plus faible, elle présente une ténacité excellente par rapport à la structure obtenue par trempe à partir de  
5 la température élevée de carbonitruration.

En tant qu'acier pour une pièce de palier on se réfère à un acier habituellement utilisé pour former une pièce de palier, que l'on soumet à un traitement thermique, comme par exemple à une trempe ordinaire.

10 Dans le procédé de traitement thermique d'une pièce de palier selon la présente invention, la température de réchauffage pour la trempe peut se situer dans une gamme allant de 790°C à 830°C.

Dans ce contexte, on réchauffe l'acier pour la  
15 trempe à la température réduisant la croissance des grains d'austénite de sorte qu'on peut régler à une faible valeur la taille des grains d'austénite.

On soumet une pièce de palier selon la présente invention au procédé de traitement thermique pour une pièce  
20 de palier telle que décrite précédemment, et les grains d'austénite peuvent posséder une taille moyenne non supérieure à 8  $\mu\text{m}$ .

Avec les grains d'austénite possédant la taille moyenne non supérieure à 8  $\mu\text{m}$ , il est possible d'améliorer  
25 non seulement la durée de vie avec résistance à la fatigue par contact roulant, mais également la résilience Charpy, la résistance à la rupture, la résistance à l'aplatissement et autres.

Une pièce de palier selon la présente invention est  
30 formée d'un acier pour pièce de palier et possède une couche carbonitrurée. La microstructure obtenue après la trempe comporte des grains d'austénite ayant une taille moyenne non supérieure à 8  $\mu\text{m}$ .

Dans ce contexte, il est possible d'obtenir une  
35 excellente résilience Charpy, une excellente résistance à

la rupture et une excellente résistance à l'aplatissement et autres, tout en garantissant une longue durée de vie de résistance à la fatigue par contact roulant.

L'acier pour la pièce de palier selon la présente invention peut inclure au moins dans une partie autre qu'une couche de surface carbonitrurée, 0,6-1,2 % en masse de carbone, 0,15-1,1 % en masse de silicium et 0,3-1,5 % en masse de manganèse.

Dans ce contexte, si la teneur en carbone dépasse 1,2 % en masse, l'usinabilité à froid en est affectée, la dureté du matériau étant élevée même après un recuit de sphéroïdisation. Si on exécute un travail à froid, il devient impossible d'obtenir une quantité de travail à froid suffisante et par conséquent on ne peut pas s'attendre à obtenir une précision désirée d'usinage. Ceci conduit également à une carburation excessive au moment de la carbonitruration, ce qui altère probablement la résistance à la fissuration. D'autre part, si la teneur en carbone est inférieure à 0,6 % en poids, un long intervalle de temps est nécessaire pour garantir une dureté de surface requise et une quantité requise d'austénite résiduelle et il est difficile d'obtenir une dureté interne nécessaire après la trempe finale.

Du Si est contenu, étant donné qu'il augmente la résistance au ramollissement de revenu, garantit une résistance à la chaleur et améliore également la propriété de résistance à la fatigue par contact roulant dans une condition de lubrification à l'état mélangé avec des matières étrangères. Si la teneur en silicium est inférieure à 0,15 % en masse, la propriété de résistance à la fatigue par contact roulant dans la condition de lubrification à l'état mélangé avec des substances étrangères n'est pas améliorée. Si cette teneur dépasse 1,1 % en masse, la dureté après normalisation devient trop élevée, ce qui affecte l'usinabilité à froid.



Le Mn garantit effectivement une durcissabilité de la couche carbonitrurée et de la partie formant noyau. Si la teneur en Mn est inférieure à 0,3 % en masse, la durcissabilité n'est pas obtenue de manière suffisante et par conséquent on ne peut pas s'attendre à une résistance suffisante de la partie formant noyau. D'autre part, si la teneur en Mn dépasse 1,5 % en masse, la durcissabilité devient trop élevée. Dans un tel cas, la dureté après normalisation devient trop élevée, ce qui affecte l'usinabilité à froid. En outre, l'austénite est beaucoup trop stabilisée, ce qui conduit à une quantité excessive d'austénite résiduelle dans la partie formant noyau, en accélérant ainsi un changement dimensionnel par vieillissement.

Il va sans dire que l'acier selon la présente invention comporte du Fe en tant que constituant principal. Il inclut également des impuretés inévitables telles que du phosphore (P), du soufre (S), de l'azote (N), de l'oxygène (O), de l'aluminium (Al) et autres, chacun en une quantité non supérieure à 0,1 % en masse.

L'acier selon la présente invention peut en outre inclure du chrome en une quantité non supérieure à 2,0 % en masse.

L'inclusion de chrome en une quantité non supérieure à 2,0 % en masse conduit à une précipitation de carbure et de nitrure de chrome dans la portion de surface supérieure, ce qui améliore la dureté de la partie considérée. Si la teneur en Cr dépasse 0,2 % en masse, l'usinabilité à froid peut être considérablement réduite. L'effet d'amélioration de la dureté de la portion formant couche de surface ne varie pas fortement si la teneur dépasse 2,0 % en masse.

La pièce de palier selon la présente invention peut être au moins une bague de roulement et un élément roulant d'un roulement.

Dans ce contexte, il est possible d'obtenir une bague de roulement et/ou un élément roulant, ayant une excellente durée de vie avec résistance à la fatigue par contact roulant et une excellente propriété anti-  
5 fissuration.

Un roulement selon la présente invention peut inclure n'importe laquelle des pièces de palier décrites précédemment.

Dans ce contexte, il est possible d'obtenir un  
10 roulement ayant une excellente durabilité vis-à-vis d'une fatigue par contact roulant et d'obtenir une résistance élevée à la fissuration.

Un roulement selon la présente invention possède une bague intérieure, une bague extérieure et une pluralité  
15 d'éléments roulants. Avec ce roulement, au moins un élément parmi la bague intérieure, la bague extérieure et les éléments roulants possède une couche carbonitrurée, et l'élément possède des grains d'austénite d'une taille dépassant la taille de grains numéro 10 suivant la norme  
20 industrielle japonaise (JIS).

Avec de tels grains d'austénite fins, on peut améliorer de façon remarquable la durée de vie avec résistance à la fatigue par contact roulant. Si les grains d'austénite possèdent une taille de grains N° 10 ou moins,  
25 la durée de vie avec résistance à la fatigue par contact roulant n'est pas fortement améliorée. Par conséquent la taille de grains N° 11 ou plus est normalement préférée. Bien que des grains d'austénite plus fins soient plus préférables, il est en général difficile d'obtenir la  
30 taille de grains dépassant le N° 13. Les grains d'austénite de la pièce de palier décrite précédemment possèdent approximativement les mêmes tailles dans la portion formant couche de surface qui est soumise à une influence élevée de la carbonituration et dans la zone située à l'intérieur de  
35 cette portion. Par conséquent les grains d'austénite

possédant une taille de grains dont le numéro se situe dans la gamme décrite plus haut sont requis à la fois pour la portion formant couche de surface et pour la zone intérieure. N'importe quel élément parmi la bague  
5 intérieure, la bague extérieure et les éléments roulants du roulement décrit précédemment peut constituer la partie de la pièce de palier telle que décrite précédemment, et sa durée de vie avec résistance à la fatigue par contact roulant est améliorée si la pièce de palier comprend des  
10 grains d'austénite ayant une taille dont le numéro se situe dans la gamme mentionnée précédemment.

Un roulement selon la présente invention comporte une bague intérieure, une bague extérieure et une pluralité d'éléments roulants, et au moins l'un des éléments  
15 comprenant la bague intérieure, la bague extérieure et les éléments roulants incluent de l'acier possédant une couche carbonitrurée, et possède une résistance à la rupture non inférieure à 2650 MPa.

Les inventeurs ont trouvé que la résistance à la  
20 rupture de l'acier possédant une couche carbonitrurée peut être rendue égale ou supérieure à 2650 MPa, un niveau qu'il était impossible d'obtenir avec les techniques classiques, grâce à une carbonitruration de l'acier à une température dépassant la température de transformation A1, un  
25 refroidissement de l'acier à une température inférieure à la température de transformation A1, un réchauffage de l'acier à une température supérieure à la température de transformation A1, et une trempe de l'acier. De ce fait, il est possible d'obtenir un roulement ayant une résistance  
30 supérieure à la rupture et par conséquent une solidité supérieure à celle d'un roulement classique.

En outre, une pièce de palier selon la présente invention est incorporée dans un roulement. La pièce de palier inclut de l'acier possédant une couche nitrocarburrée  
35 et possède une résistance à la rupture non inférieure à

2650 MPa.

Ainsi, comme dans le cas du roulement décrit précédemment, il est possible d'obtenir une pièce de palier qui est ait une résistance à la rupture et par conséquent  
5 une résistance supérieure à la fissuration, supérieures à celles d'une pièce de palier classique.

Un roulement selon la présente invention comporte une bague intérieure, une bague extérieure et une pluralité d'éléments roulants. Dans ce roulement au moins un élément  
10 parmi la bague intérieure, la bague extérieure et les éléments roulants possède une couche carbonitrurée, et l'élément possède une teneur en hydrogène non supérieure à 0,5 ppm.

Dans ce contexte, il est possible d'éviter une  
15 fragilisation de l'acier imputable à l'hydrogène. Si la teneur en hydrogène dépasse 0,5 ppm, la résistance à la fissuration est altérée, ce qui empêche l'utilisation du roulement dans un site, dans lequel une charge sévère serait appliquée. Une teneur plus faible en hydrogène est  
20 nettement préférable. Cependant, pour réduire la teneur en hydrogène à un niveau inférieur à 0,3 ppm, il est nécessaire d'appliquer un chauffage pendant un long intervalle de temps, ce qui rend les grains d'austénite grossiers, en altérant de ce fait la ténacité. Par  
25 conséquent il est préférable que la teneur en hydrogène se situe dans la gamme comprise entre 0,3 et 0,5 ppm, et il est encore plus préférable que la teneur se situe dans la gamme comprise entre 0,35 et 0,45 ppm.

La teneur en hydrogène telle que décrite  
30 précédemment est obtenue par mesure uniquement de la quantité d'hydrogène qui ne peut pas diffuser, qui est évacuée de l'acier à une température non inférieure à une température prescrite. La teneur en hydrogène pouvant diffuser n'est pas mesurée étant donné que si la taille de  
35 l'échantillon est faible, l'hydrogène est évacué de

l'échantillon et est perdu même à la température ambiante. L'hydrogène qui ne peut pas diffuser est piégé par exemple dans une partie formant défaut à l'intérieur de l'acier et est évacué de l'échantillon uniquement à une température  
5 non inférieure à la température prescrite. Même si la mesure est limitée à l'hydrogène qui n'est pas apte à diffuser, la teneur en hydrogène varie considérablement en fonction des procédés de mesure. La teneur en hydrogène dans la gamme décrite précédemment est mesurée en utilisant  
10 la conductibilité thermique, de préférence au moyen de l'analyseur d'hydrogène DN-103 de la société dite Leco ou un appareil équivalent, comme cela sera décrit plus loin.

Des grains d'austénite de l'élément décrit précédemment possèdent de préférence une taille dépassant  
15 la taille de grains numéro 10 selon la norme JIS.

La durée de vie avec résistance à la fatigue par contact roulant est nettement améliorée lorsque les grains d'austénite sont fins. Si le numéro de la taille des grains d'austénite est le N° 10 ou moins, la durée de vie avec  
20 résistance à la fatigue par contact roulant à une température élevée n'augmente pas largement. Bien qu'une taille plus petite des grains d'austénite soit plus préférable, il est en général difficile d'obtenir la taille de grains dépassant le N° 13. Les grains d'austénite de la  
25 pièce de palier décrite précédemment possèdent presque les mêmes tailles de grains dans la portion formant couche de surface, qui est soumise à une influence importante de la carbonitruration, et dans la zone intérieure de cette portion.

30 Tout élément parmi la bague intérieure, la bague extérieure et l'élément roulant du roulement décrit précédemment peut être la pièce de palier décrite ci-dessus. Si la pièce de palier possède une teneur en hydrogène située dans la gamme décrite précédemment, sa  
35 résistance à la fissuration est améliorée. En outre si le

numéro de la taille des grains d'austénite se situe dans la gamme décrite précédemment, la durée de vie avec résistance à la fatigue par contact roulant est également améliorée.

5 D'autres buts et caractéristiques de la présente invention ressortiront de la description donnée ci-après prise en référence aux dessins annexés, sur lesquels:

- la figure 1 est une vue en coupe transversale schématique d'une pièce de palier selon une forme de réalisation de la présente invention;

10 - la figure 2 illustre un procédé de traitement thermique selon un mode de mise en oeuvre de la présente invention;

- la figure 3 illustre une variante du procédé de traitement thermique selon un mode de mise en oeuvre de la présente invention;

15 - les figures 4A et 4B représentent des microstructures, notamment des grains d'austénite, respectivement d'une pièce de palier selon l'invention et d'une pièce de palier classique;

20 - les figures 5A et 5B représentent des limites des grains d'austénite illustrés respectivement sur les figures 4A et 4B;

- la figure 6 représente une éprouvette utilisée pour un test de résistance à un aplatissement statique (pour la mesure de la résistance à la rupture;

25 - les figures 7A et 7B représentent schématiquement un gabarit de test de la fatigue par contact roulant respectivement selon une vue de face et selon une vue en élévation latérale; et

30 - la figure 8 représente une éprouvette pour un test de résistance statique à la rupture.

Ci-après on va décrire des modes de mise en oeuvre de la présente invention en référence aux dessins. La figure 1 est une vue en coupe transversale schématique du roulement selon une forme de réalisation de la présente

invention. En référence à la figure 1, le roulement 10 comprend, entre autres, une bague extérieure 1, une bague intérieure 2 et des éléments roulants 3. Bien qu'on ait représenté un palier radial, la présente invention est également applicable à un roulement à billes, à un roulement à rouleaux coniques, à un roulement à rouleaux et à un roulement à aiguilles. Les éléments roulants 3 sont supportés de manière à pouvoir rouler dans une cage disposée entre la bague extérieure 1 et la bague intérieure 2.

Au moins un élément parmi la bague extérieure 1, la bague intérieure 2 et les éléments roulants 3 est formé d'un acier comportant une couche carbonitrurée. Les grains d'austénite de l'acier possèdent un diamètre non supérieur à 8  $\mu\text{m}$ .

Au moins un élément parmi la bague extérieure 1, la bague intérieure 2 et les éléments roulants 3 est formé d'un acier ayant une couche carbonitrurée, qui inclut, dans une partie autre que sa couche de surface, 0,6-1,2 % en masse de carbone, 0,15-1,1 % en masse de silicium et 0,3-1,5 % en masse de manganèse. Dans un cas prescrit, il comporte en outre 2 % en masse ou moins de chrome.

Au moins un élément parmi la bague extérieure 1, la bague intérieure 2 et les éléments roulants 3 est formé d'un matériau en acier comportant une couche carbonitrurée et présente une résistance à la rupture qui n'est pas inférieure à 2650 MPa.

En outre, au moins un élément parmi la bague extérieure 1, la bague intérieure 2 et les éléments roulants 3 est formé d'acier comportant une couche carbonitrurée, et la teneur en hydrogène de l'acier n'est pas supérieure à 0,5 ppm.

Au moins un élément parmi la bague extérieure 1, la bague intérieure 2 et les éléments roulants 3 est formé d'acier possédant une couche carbonitrurée, et les grains

d'austénite de ces éléments possèdent une taille dépassant la taille de grains numéro 10 suivant la norme industrielle japonaise (JIS).

En outre, au moins un élément parmi la bague  
5 extérieure 1, la bague intérieure 2 et les éléments  
roulants 3 est formé d'un acier possédant une couche  
carbonitrurée, et fournit une résilience Charpy non  
inférieure à 6,2 J/cm<sup>2</sup>.

On va maintenant expliquer le traitement thermique  
10 incluant une carbonitruration devant être exécutée sur au  
moins une pièce de palier de la bague extérieure, de la  
bague intérieure et des éléments roulants du roulement.

La figure 2 illustre un procédé de traitement  
thermique selon un mode de mise en oeuvre de la présente  
15 invention. La figure 3 illustre une variante du procédé de  
traitement thermique selon un mode de mise en oeuvre de la  
présente invention. De façon plus spécifique la figure 2  
illustre une configuration de traitement thermique, dans  
laquelle on exécute une trempe primaire et une trempe  
20 secondaire. La figure 3 représente une configuration de  
traitement thermique, dans laquelle un matériau est  
refroidi à une température inférieure à la température de  
transformation A1 au milieu de la trempe, puis le matériau  
est réchauffé pour achever la trempe. Sur les figures 2 et  
25 3, lors du processus T1 (température de chauffage: T1), du  
carbone et de l'azote diffusent dans une matrice de l'acier  
et il se produit une pénétration suffisante du carbone.  
Puis on refroidit l'acier à une température inférieure à la  
température de transformation A1. Ensuite lors du processus  
30 T2 (température de chauffage: T2) on réchauffe l'acier à  
une température inférieure à la température T1 lors du  
processus T1, ceci étant suivi par une trempe dans l'huile.  
A partir du diagramme de phases carbone-fer, dans la couche  
carbonitrurée, la température de chauffage T2 dans le  
35 processus T2 tombe dans une région hyper-eutectoïde, qui



correspond à une zone de coexistence de l'austénite et de précipités (cémentite, nitrure ou analogue).

Avec le traitement thermique décrit précédemment, par rapport au cas d'une trempe ordinaire, dans laquelle la carbonitruration est suivie par une trempe exécutée une fois, il est possible d'améliorer la résistance à la fissuration et de réduire les variations des dimensions dues au vieillissement, lorsqu'on applique une carbonitruration à la portion formant couche de surface. Ainsi, conformément au procédé de traitement thermique décrit précédemment, il est possible d'obtenir les grains d'austénite qui ont des microstructures avec une taille de grains égale à la moitié ou inférieure à la taille classique. La pièce de palier, qui a été soumise au traitement thermique décrit précédemment, présente une longue durée de vie avec résistance à la fatigue par contact roulant, la résistance à la fissuration est améliorée et la variation dimensionnelle due au vieillissement est réduite.

Les figures 4A et 4B représentent des microstructures ou, de façon spécifique, des grains d'austénite respectivement de la pièce de palier selon l'invention et d'une pièce de palier classique. De façon plus spécifique, la taille des grains d'austénite de la pièce de palier, à laquelle la configuration de traitement thermique de la figure 2 a été appliquée, est représentée sur la figure 4A. La taille des grains d'austénite de l'acier du palier, qui a subi le traitement thermique classique, est représenté sur la figure 4B à titre de comparaison. Les figures 5A et 5B représentent des limites des grains d'austénite représentés sur les figures 4A et 4B respectivement. On a trouvé sur ces figures montrant les tailles des grains d'austénite que, alors que les grains d'austénite classiques possèdent une taille N° 10 suivant la norme industrielle japonaise, on peut obtenir des grains

plus fins de taille N° 12 au moyen du procédé de traitement thermique selon la présente invention. Les grains représentés sur la figure 4A possèdent une taille moyenne de 5,6  $\mu\text{m}$  mesurée au moyen du procédé de l'intercept, au  
5 moyen duquel on obtient la taille moyenne des grains à partir du nombre d'intercepts d'un segment de droite d'une longueur prédéterminée avec des limites de grains.

#### Exemples

Ci après on va décrire des exemples de la présente  
10 invention.

#### Exemple 1

Dans le premier exemple de la présente invention, on a utilisé le matériau JIS SUJ2 (contenant 1,0 % en masse de C, 0,25 % en masse de Si, 0,4 % en masse de Mn, 1,5 % en  
15 masse de Cr). Les historiques de fabrication des échantillons respectifs indiqués dans le tableau 1 sont les suivantes.

Tableau I

| Echantillon   | A      | B    | C    | D    | E    | F    | Elément<br>carbonitruré<br>classique | Elément<br>trempé<br>classique |
|---|--------|------|------|------|------|------|--------------------------------------|--------------------------------|
| Température lors de la<br>trempé secondaire (°C)  | 780 1) | 800  | 815  | 830  | 850  | 870  | -                                    | -                              |
| Teneur en hydrogène<br>(ppm)  | -      | 0,37 | 0,40 | 0,38 | 0,42 | 0,40 | 0,72                                 | 0,38                           |
| Taille des grains (JIS)   | -      | 12   | 11,5 | 11   | 10   | 10   | 10                                   | 10                             |
| Résilience Charpy<br>(J/cm²)  | -      | 6,65 | 6,40 | 6,30 | 6,20 | 6,30 | 5,33                                 | 6,70                           |
| Résistance à la rupture<br>(MPa)  | -      | 2840 | 2780 | 2650 | 2650 | 2700 | 2330                                 | 2770                           |
| Rapport de durée de vie<br>avec résistance à la<br>fatigue par contact<br>roulant (L10) | -      | 5,4  | 4,2  | 3,5  | 2,9  | 2,8  | 3,1                                  | 1                              |

1) L'évaluation a été impossible en raison d'une trempé insuffisante.

Echantillons A-D (exemples de la présente invention)

On a soumis chaque échantillon à une carbonitruration à 850°C et on l'y a maintenu pendant 150 minutes. Le gaz atmosphérique était un gaz mixte formé de gaz RX et de gaz ammoniac. Dans la configuration de traitement thermique illustrée sur la figure 2, on a effectué une trempe primaire à partir de la température de carbonitruration de 850°C. On a exécuté une trempe  
10 secondaire en réchauffant l'échantillon à une température inférieure à la température de carbonitruration, dans une gamme de températures comprise entre 780°C et 830°C. On a éliminé du test l'échantillon A réchauffé à 780°C pour la trempe secondaire, en raison d'une trempe insuffisante.

15 Echantillons E, F (exemples comparatifs)

On a effectué la carbonitruration avec le même historique que dans les échantillons A-D. On a effectué une trempe secondaire à partir d'une température non inférieure à la température de carbonitruration de 850°C, dans une  
20 gamme de températures entre 850°C et 870°C.

Elément carbonitruré classique (exemple comparatif)

On a effectué la carbonitruration à 850°C. Le temps de maintien était de 150 minutes. On a utilisé comme gaz atmosphérique un gaz mixte formé de gaz RX et de gaz  
25 ammoniac. On a effectué une trempe à partir de la température de carbonitruration. On n'a exécuté aucune trempe secondaire.

Elément trempé ordinaire (exemple comparatif)

Sans l'avoir soumis à la carbonitruration, on a  
30 chauffé l'élément à 850°C pour la trempe. On n'a exécuté aucune trempe secondaire.

Pour les échantillons indiqués dans le tableau 1, on a effectué les tests suivants: (1) mesure de la teneur en hydrogène; (2) mesure de la taille des grains; (3) test  
35 de résilience Charpy; (4) mesure de la résistance à la

rupture; et (5) test de fatigue sous l'effet d'un contact roulant. Les procédés de test étaient les suivants:

I. Procédés de test dans l'exemple 1

(1) Mesure de la teneur en hydrogène

- 5           On a utilisé un analyseur d'hydrogène DH-103 disponible auprès de la société Leco Corporation pour analyser la teneur en hydrogène qui ne peut pas diffuser, dans l'acier. On n'a pas mesuré la teneur en hydrogène pouvant diffuser. Ci-après on va indiquer les
- 10   spécifications de l'analyseur d'hydrogène DH-103 de LECO.  
Gamme d'analyse: 0,01-50,00 ppm  
Précision d'analyse:  $\pm 0,1$  ppm ou  $\pm 3$  % H (la valeur la plus élevée des deux)  
Sensibilité d'analyse: 0,01 ppm
- 15   Procédé de détection: à partir de la conduction thermique  
Poids de l'échantillon: 10 mg à 35 g (maximum: diamètre 12 mm x longueur 100 mm)  
Gamme de température du four de chauffage: 50-100°C  
Réactifs: Anhydrone (nom commercial, ingrédient principal:
- 20   Mg(ClO<sub>4</sub>)<sub>2</sub> 92 %), Ascarite (nom commercial, ingrédient principal: NaOH 80 %)  
Gaz porteur: gaz azote, pureté 99,99 % ou plus  
Gaz-gaz de dosage: gaz hydrogène, pureté 99,99 % ou plus  
Pression: 40 PSI (2,8 kgf/cm<sup>2</sup>)
- 25           On a exécuté la mesure comme suit. On a placé dans l'analyseur d'hydrogène un échantillon prélevé avec et contenu dans un dispositif d'échantillonnage dédié. On a introduit l'hydrogène apte à diffuser, dans un détecteur de conductivité thermique au moyen du gaz porteur azote. On
- 30   n'a pas mesuré la valeur de la teneur en hydrogène pouvant diffuser, dans le présent exemple. Ensuite on a retiré l'échantillon du dispositif d'échantillonnage et on l'a chauffé dans un four de chauffage à résistance pour envoyer l'hydrogène non apte à diffuser au détecteur de
- 35   conductivité thermique au moyen du gaz porteur azote. On a

mesuré la conductivité thermique dans le détecteur de conductivité thermique pour obtenir la valeur de la teneur en hydrogène non apte à diffuser.

(2) Mesure de la taille des grains

5 On a mesuré la taille des grains sur la base du procédé de test de la taille des grains d'austénite de l'acier, tel que défini selon la norme japonaise JIS G 0551.

(3) Test de résilience Charpy

10 On a effectué le test de résilience Charpy sur la base du procédé de test de résilience Charpy pour les matériaux métalliques, tel que défini dans la norme japonaise JIS Z 2242, pour laquelle on a utilisé une éprouvette à encoche en U (éprouvette JIS N° 3) comme  
15 définie dans la norme JIS Z 2202.

(4) Mesure de la résistance à la rupture

La figure 6 représente une éprouvette utilisée dans le test de résistance à un aplatissement statique (pour la mesure de la résistance à la rupture). On a appliqué une  
20 charge dans une direction P sur la figure 6 pour mesurer la charge requise pour rompre l'éprouvette. La charge de rupture ainsi obtenue est convertie en une valeur de contrainte en utilisant l'expression pour le calcul de la contrainte d'une poutre courbe représentée plus loin. On  
25 peut utiliser pour le test une éprouvette ayant n'importe quelle forme, non limitée à celle représentée sur la figure 6.

Pour l'éprouvette de la figure 6, on obtient la contrainte de fibre  $\sigma_1$  sur la surface convexe et une  
30 contrainte de fibre  $\sigma_2$  sur la surface concave à partir de l'expression suivant (manuel JSME Mechanical Engineers' Handbook, A4: Strength of Materials, A4-40).

$$\sigma_1 = (N/A) + \{M/(A\rho_0)\}[1+e_1/\{\kappa(\rho_0+e_1)\}]$$

$$\sigma_2 = (N/A) + \{M/(A\rho_0)\}[1-e_2/\{\kappa(\rho_0-e_2)\}]$$

$$35 \quad \kappa = -(1/A) \int_A \{\eta/(\rho_0+\eta)\} dA$$

N représentant une force axiale de la section transversale incluant l'axe de l'éprouvette toroïdale, A une surface en coupe transversale,  $e_1$  et  $e_2$  respectivement un rayon extérieur et un rayon intérieur et  $k$  un module de section de la poutre courbe.

#### (5) Test de fatigue par contact roulant

On a représenté les conditions de test de fatigue par contact roulant dans le tableau 2. Les figures 7A et 7B représentent schématiquement le gabarit pour le test de fatigue par contact roulant et ce respectivement selon une vue de face et une vue en élévation latérale. Sur les figures 7A et 7B, l'éprouvette 21 pour le test de fatigue par contact roulant est entraînée par un rouleau d'entraînement 11 et tourne en contact avec des billes 13. Les billes 13 d'une taille 19,05 mm sont guidées par des rouleaux de guidage et un rouleau appliquant une pression de contact intense à l'éprouvette 21.

Tableau 2

|                                  |   |
|----------------------------------|---|
| Eprouvette                       | Eprouvette toroïdale $\phi 12 \times L22$ |
| Nombre d'éprouvettes             | 10  |
| Billes en acier de contre-partie | 19,05 mm                                  |
| Pression de contact              | 5,88 GPa                                  |
| Taux de charge                   | 46240 cpm                                 |
| Huile lubrifiante                | Turbine VG68, lubrifiée à force           |

## II. Résultats des tests de l'exemple 1

### (1) Teneur en hydrogène

L'élément carbonitruré classique ayant subi uniquement la carbonituration présente une teneur en hydrogène très élevée égale à 0,72 ppm. On considère que ceci est dû au fait que l'ammonium ( $\text{NH}_3$ ) contenu dans l'atmosphère pour la carbonituration s'est décomposé et a pénétré dans l'acier. A titre de comparaison, la teneur en hydrogène des échantillons B-D diminue presque de moitié, à savoir a une valeur de 0,37-0,40 ppm, ce qui est le même

niveau que celui de l'élément trempé usuel.

On peut atténuer une fragilisation de l'acier imputable à l'hydrogène dissous moyennant une réduction de la teneur en hydrogène. C'est-à-dire qu'avec la teneur en hydrogène réduite, les échantillons B-D du présent exemple  
5 présentent une résilience Charpy nettement améliorée.

## (2) Taille des grains

Dans le cas où la température lors de la trempe secondaire est inférieure à la température présente lors de la carbonituration (et par conséquent la trempe primaire),  
10 dans le cas des échantillons B-D, on obtient des grains d'austénite extrêmement fins comparables à la taille des grains JIS numéro 11-12. Les grains d'austénite des échantillons E et F, l'élément carbonitruré classique et  
15 l'élément trempé usuel possèdent une taille de grains JIS numéro 10, qui est plus grossière que celle des échantillons B-D du présent exemple. Avec le traitement thermique selon la forme de réalisation décrite plus haut, les grains d'austénite à la fois dans la couche  
20 carbonitrurée et dans la partie intérieure deviennent plus fins, ce qui permet d'obtenir presque les mêmes tailles de grains. Une telle tendance s'est également avérée présente dans un autre exemple.

## (3) Test de résilience Charpy

25 Dans le tableau 1, la résilience Charpy de l'élément carbonitruré classique est égale à 5,33 J/cm<sup>2</sup> ainsi que les échantillons B-D du présent exemple présente des valeurs de résilience Charpy élevées égale à 6,30-6,65 J/cm<sup>2</sup>. Parmi ces échantillons, ceux ayant subi la trempe  
30 secondaire à des températures plus faibles tendent à présenter des valeurs de résilience Charpy plus élevées. L'élément trempé usuel présente une résilience Charpy élevée égale à 6,70 J/cm<sup>2</sup>.

## (4) Mesure de la résistance à la rupture

35 La résistance à la rupture correspond à la



résistance à la fissuration. A partir du tableau 1, on voit que l'élément carbonitruré classique présente une résistance à la rupture égale à 2330 MPa. A titre de comparaison, les valeurs de résistance à la rupture des échantillons B-F sont améliorées et possèdent des valeurs à 2650-2840 MPa.

L'élément trempé ordinaire présente une résistance à la rupture égale à 2770 MPa, qui se situe au même niveau que ceux des échantillons B-F. Une telle amélioration de la résistance à la rupture des échantillons B-F est due apparemment à la taille réduite des grains d'austénite et à la teneur réduite en hydrogène.

#### (5) Test de fatigue par contact roulant

A partir du tableau 1, on voit que l'élément trempé ordinaire possède la durée de vie plus faible avec résistance à la fatigue par contact roulant L10, étant donné que sa portion de couche de surface n'a pas été carbonitrurée. L'élément carbonitruré classique possède une durée de vie avec résistance à la fatigue par contact roulant, qui est 3,1 fois supérieure à celle de l'élément trempé ordinaire. Parmi les échantillons B-F, les échantillons B-D qui ont chacun subi la trempe secondaire à partir d'une température inférieure à la température de carbonituration, présentent en outre une durée de vie améliorée avec résistance à la fatigue par contact roulant par rapport à celle de l'élément carbonitruré classique. Les échantillons E et F, qui correspondent à la présente invention pour ce qui concerne la teneur en hydrogène, possèdent chacun une durée de vie avec résistance à la fatigue par contact roulant égale ou inférieure à celle de l'élément carbonitruré classique.

En résumé, les échantillons B-F selon le présent exemple possèdent des teneurs en hydrogène réduites et présentent une résilience Charpy et une résistance à la fissuration améliorées. Cependant, la durée de vie avec

résistance à la fatigue par contact roulant est accrue de façon supplémentaire uniquement dans les échantillons B-D qui possèdent les grains plus fins d'austénite par rapport à la taille de grains JIS N°11 ou plus. Par conséquent, 5 parmi les échantillons B-F du présent exemple, les échantillons B-D dans une gamme préférée de la présente invention, dans laquelle la température de la trempe secondaire est réduite au-dessous de la température de carbonitruration, ce qui réduit plus encore la taille des 10 grains.

#### Exemple 2

On va expliquer maintenant le second exemple. On a exécuté une série de tests sur les matériaux A, B et C expliqués ci-après. Comme matériau devant être soumis à un 15 traitement thermique, on utilisait habituellement le matériau JIS SUJ2 (contenant 1,0 % en masse de C, 0,25 % en masse de Si, 0,4 % en masse de Mn, 1,5 % en masse de Cr) pour les matériaux A-C.

Les historiques de fabrication de ces matériaux 20 sont les suivantes.

Matériau A (exemple comparatif): soumis uniquement à une trempe ordinaire (non accompagnée d'une carbonitruration).

Matériau B (exemple comparatif): soumis à une 25 trempe après carbonitruration (carbonitruration et trempe classiques). La température de carbonitruration était de 845°C et le temps de maintien était de 150 minutes. Le gaz atmosphérique pour la carbonitruration était un gaz mixte formé de gaz RX et de gaz ammoniac.

Matériau C (exemple de la présente invention): 30 acier pour palier, auquel on a appliqué la configuration de traitement thermique de la figure 2. On lui a appliqué une carbonitruration à 845°C en l'y a maintenu pendant 150 minutes. On a utilisé un gaz mixte formé de gaz RX et de 35 gaz ammoniac en tant qu'atmosphère de carbonitruration. La

température (T2) pour la trempe finale était de 800°C.

(1) Durée de vie avec résistance à la fatigue par contact roulant

Les conditions de test et le gabarit de test pour le test de durée de résistance à la fatigue par contact roulant sont tels que décrits précédemment, indiqués dans le tableau 2 et en référence aux figures 7A et 7B. Le tableau 3 représente le résultat du test.

Tableau 3

| Matériau | Durée de vie<br>(nombre de cycles de charge) |                           | Rapport de L10 |
|----------|--|---------------------------|----------------|
|          | L10 ( $\times 10^4$ fois)                    | L10 ( $\times 10^4$ fois) |                |
| A        | 8017   | 18648                     | 1,0            |
| B        | 24656  | 33974                     | 3,1            |
| C        | 43244  | 69031                     | 5,4            |

Dans le tableau 3, le matériau B en tant d'exemple comparatif possède la durée de vie L10 (une durée de vie jusqu'à ce que l'une des deux éprouvettes se rompe), ce qui est égal à 3,1 fois la durée de vie du matériau A en tant qu'autre exemple comparatif ayant subi uniquement la trempe ordinaire. On voit que la carbonitruration augmente avantageusement la durée de vie. A titre comparatif, le matériau C du présent exemple possède une longue durée de vie égale à 1,74 fois celle du matériau B et égale à 5,4 fois celle du matériau A. On considère qu'une telle amélioration est due principalement à la microstructure plus fine du matériau.

(2) Test de résilience Charpy

On a effectué le test de résilience Charpy en utilisant une éprouvette à encoche en U conformément au procédé tel que défini dans la norme JIS Z 2242 décrite précédemment. Le tableau 4 montre les résultats du test.

Tableau 4

| Matériau | Résilience Charpy (J/cm <sup>2</sup> ) | Rapport d'impact |
|----------|--|------------------|
| A        | 6,7                                    | 1,0              |
| B        | 5,3                                    | 0,8              |
| C        | 6,7                                    | 1,0              |

Bien que la résilience Charpy du matériau B (exemple comparatif) ayant subi la carbonitruration ait été inférieure à celle du matériau A (exemple comparatif) ayant subi une trempe ordinaire, le matériau C présentait une

### (3) Test de résistance à la rupture statique

La figure 8 représente une éprouvette utilisée pour le test de résistance à la rupture statique. On a réalisé préalablement une fissure dans la partie d'encoche de l'éprouvette sur une longueur d'environ 1 mm, et on a appliqué une charge statique au moyen d'un fléchissement en 3 points pour obtenir une charge de rupture P. On a calculé la résistance à la rupture (valeur  $K_{Ic}$ ) au moyen de l'expression suivante (1). Les résultats du test sont indiqués dans le tableau 5.

$$K_{Ic} = (PL\sqrt{a/BW^2}) \{5,8 - 9,2(a/W) + 43,6(a/W)^2 - 75,3(a/W)^3 + 77,5(a/W)^4\} \dots (1)$$

Tableau 5

| Matériau | Nombre d'éprouvettes | $K_{Ic}$ (MPa $\sqrt{m}$ ) | Rapport de $K_{Ic}$ |
|----------|----------------------|----------------------------|---------------------|
| A        | 3                    | 16,3                       | 1,0                 |
| B        | 3                    | 16,1                       | 1,0                 |
| C        | 3                    | 18,9                       | 1,2                 |

Le matériau A et le matériau B en tant qu'exemples comparatifs présentaient une résistance similaire à la rupture, étant donné que la profondeur de fissuration préalable dépassait la profondeur de la couche carbonitrurée. Cependant le matériau C selon la présente invention présentait une valeur égale approximativement à 1,2 fois celle des exemples comparatifs.

(4) Test de résistance d'aplatissement statique  
(mesure de la contrainte de fracture)

On a utilisé l'éprouvette représentée sur la figure 6 pour le test de résistance à l'aplatissement statique. On a l'appliqué dans la direction B sur la figure 6. Les résultats du test sont représentés dans le tableau 6.

Tableau 6

| Matériau | Nombre d'éprouvettes | Résistance à l'aplatissement statique (kgf) | Rapport de la résistance d'aplatissement statique |
|----------|----------------------|---|---|
| A        | 3                    | 4200  | 1,0   |
| B        | 3                    | 3500  | 0,84  |
| C        | 3                    | 4300  | 1,03  |

Le matériau B, qui a subi la carbonitruration, présente une valeur légèrement inférieure à celle du matériau A. Le matériau C selon le présent exemple possède la résistance à l'aplatissement statique, qui est supérieure à celle du matériau B et est comparable à celle du matériau A.

(5) Modification des dimensions liée au vieillissement

On a maintenu les matériaux à 130°C pendant 500 minutes pour mesurer les modifications des dimensions par vieillissement. Le tableau 7 montre, en plus des résultats mesurés, la dureté de surface et les quantités d'austénite résiduelle (à une profondeur de 0,1 mm).

Tableau 7

| Matériau | Nombre d'éprouvettes | Durée de surface (HRC) | Quantité $\gamma$ résiduelle (%) | Variation des dimensions ( $\times 10^{-5}$ ) | Rapport de modification dimensionnelle *) |
|----------|----------------------|------------------------|----------------------------------|---|---|
| A        | 3                    | 62,5                   | 9,0                              | 18  | 1,0                                       |
| B        | 3                    | 63,6                   | 28,0                             | 35  | 1,9                                       |
| C        | 3                    | 60,0                   | 11,3                             | 22  | 1,2                                       |

\*) La valeur la plus faible est la meilleure

On trouve dans le tableau 7 que la variation dimensionnelle du matériau C du présent exemple est suffisamment limitée par rapport au cas du matériau B contenant une quantité élevée d'austénite résiduelle.

(6) Test de durée de vie avec résistance à la fatigue moyennant une lubrification avec mélange avec des matières étrangères

On a utilisé un roulement à bille 6206 pour évaluer la durée de vie avec résistance à la fatigue par contact roulant dans des conditions de lubrification avec mélange avec des matières étrangères, dans lesquelles des matières étrangères typiques étaient mélangées en une quantité prescrite. Les conditions de test sont indiquées dans le tableau 8 et les résultats de test sont représentés dans le tableau 9.

Tableau 8

|                                 |  |
|---------------------------------|--|
| Charge                          | Fr = 6,86 kN   |
| Pression de contact             | Pmax = 3,2 GPa   |
| Vitesse de rotation             | 2000 tr/mn   |
| Lubrification                   | Turbine 56, lubrification avec alimentation profonde   |
| Teneur en substances étrangères | 0,4 g/1000 cc  |
| Substances étrangères           | Taille de particules: 100-180 $\mu$ m<br>Dureté: Hv800 |

Tableau 9

| Matériau | Durée de vie L10<br>(h) | Rapport de L10 |
|----------|-------------------------|----------------|
| A        | 20,0                    | 1,0            |
| B        | 50,2                    | 2,5            |
| C        | 45,8                    | 2,3            |

Le matériau B, qui a subi une carbonitruration classique, possède une durée de vie L10 égale approximativement à 2,5 fois celle du matériau A. Le

matériau C du présent exemple possède la durée de vie L10 égale approximativement à 2,3 fois celle du matériau A. Bien que le matériau C du présent exemple inclut une quantité d'austénite résiduelle inférieure à celle du  
5 matériau B de l'exemple comparatif, il possède une longue durée de vie égale approximativement à celle du matériau B, en raison de la pénétration d'azote et d'une plus fine microstructure en lui.

On trouve à partir des résultats indiqués plus  
10 haut, que la pièce de palier fabriquée au moyen du procédé de traitement thermique selon la présente invention, c'est-à-dire le matériau C du présent exemple, satisfait simultanément aux trois exigences d'une longue durée de vie avec résistance à la fatigue par contact roulant,  
15 résistance améliorée à la fissuration et modification dimensionnelle réduite due au vieillissement, ce qui était difficile d'obtenir avec la carbonitruration classique.

Bien que la présente invention ait été décrite et représentée de façon détaillée, on comprendra à l'évidence  
20 qu'elle a été donnée uniquement à titre d'illustration et d'exemple sans aucun caractère limitatif.

REVENDEICATIONS

1. Procédé de traitement thermique d'une pièce de palier, caractérisé en ce qu'il comprend les étapes consistant à:

5 réaliser la carbonitruration d'acier pour une pièce de palier à une température de carbonitruration (T1) dépassant la température de transformation A1,

refroidir l'acier à une température inférieure à la température de transformation A1,

10 réchauffer l'acier à une température de trempe (T2) qui n'est pas inférieure à ladite température de transformation A1, mais est inférieure à la température de carbonitruration, et

effectuer la trempe de l'acier.

15 2. Procédé de traitement thermique d'une pièce de palier selon la revendication 1, caractérisé en ce que ladite température de trempe est comprise dans une gamme de températures allant de 790°C à 830°C.

20 3. Pièce de palier soumise au procédé thermique selon la revendication 2, caractérisée en ce qu'elle comporte des grains d'austénite ayant une taille moyenne non supérieure à 8  $\mu\text{m}$ .

4. Roulement caractérisé en ce qu'il inclut la pièce de palier (1, 2, 3) selon la revendication 3.

25 5. Pièce de palier (1, 2, 3) formée d'un acier pour pièce de palier, caractérisée en ce qu'elle inclut une couche carbonitrurée et comporte des grains d'austénite ayant une taille moyenne non supérieure à 8  $\mu\text{m}$  dans l'une ou l'autre d'une microstructure ayant subi une trempe et  
30 d'une microstructure ayant subi une trempe et un revenu.

6. Pièce de palier selon la revendication 5, caractérisée en ce que ledit acier pour la pièce de palier inclut, dans une partie autre qu'une couche de surface carbonitrurée, 0,6-1,2 % en masse de carbone, 0,15-1,1 % en  
35 masse de silicium et 0,3-1,5 % en masse de manganèse.



7. Pièce de palier selon la revendication 6, caractérisé en ce que ledit acier pour la pièce de palier comprend en outre du chrome en une teneur non supérieure à 2,0 % en masse.

5 8. Pièce de palier selon la revendication 5, caractérisée en ce que ladite pièce de palier est au moins une bague de roulement (1, 2) et un élément roulant (3) d'un roulement (10).

10 9. Roulement, caractérisé en ce qu'il comporte la pièce de palier selon la revendication 5.

10. Pièce de palier incorporée dans un roulement (10), caractérisée en ce qu'elle inclut une couche carbonitrurée et comporte des grains austénite ayant une taille dépassant une taille de grains numéro 10 suivant la  
15 norme industrielle japonaise (JIS).

11. Roulement (10), caractérisé en ce qu'il comporte une bague intérieure (2), une bague extérieure (1) et une pluralité d'éléments roulants (3) et qu'au moins l'un parmi lesdits éléments constituant la bague  
20 intérieure, la bague extérieure et les éléments roulants est formé par la pièce de palier selon la revendication 10.

12. Pièce de palier (1, 2, 3), caractérisée en ce qu'elle est incorporée dans un roulement (10) et comprend  
25 de l'acier ayant une couche carbonitrurée et possédant une résistance à la rupture non inférieure à 2650 MPa.

13. Roulement (10), caractérisé en ce qu'il comporte une bague intérieure (2), une bague extérieure (1) et une pluralité d'éléments roulants (3) et qu'au moins  
30 l'un parmi lesdits éléments constituant la bague intérieure, la bague extérieure et les éléments roulants est formé par la pièce de palier selon la revendication 12.

14. Pièce de palier incorporée dans un roulement,  
35 caractérisée en ce qu'elle possède une couche carbonitrurée

et une teneur en hydrogène non supérieure à 0,5 ppm.

15. Pièce de palier selon la revendication 14, caractérisée en ce qu'elle comporte des grains d'austénite ayant une taille dépassant une taille de grains numéro 10  
5 suivant la norme industrielle japonaise (JIS).

16. Roulement (10), caractérisé en ce qu'il comporte une bague intérieure (2), une bague extérieure (1) et une pluralité d'éléments roulants (3) et qu'au moins l'un parmi lesdits éléments constituant la bague  
10 intérieure, la bague extérieure et les éléments roulants est formé par la pièce de palier selon la revendication 14.

17. Roulement selon la revendication 16, caractérisé en ce que des grains d'austénite dudit élément  
15 possèdent une taille dépassant une taille de grains numéro 10 suivant la norme industrielle japonaise (JIS).

FIG.1

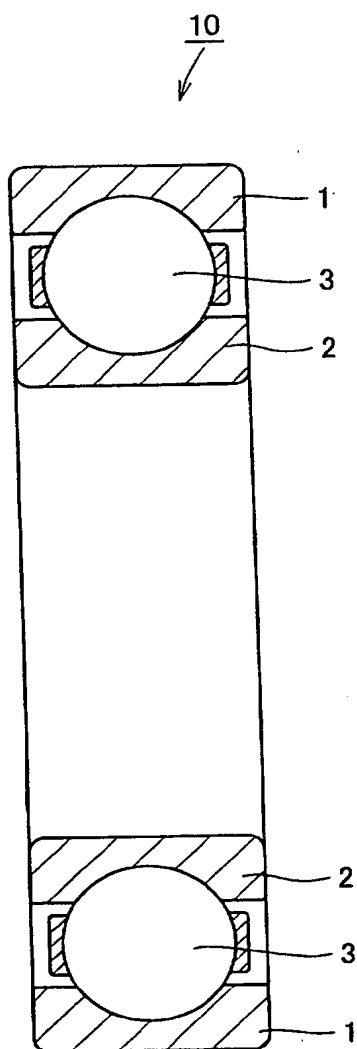


FIG.2

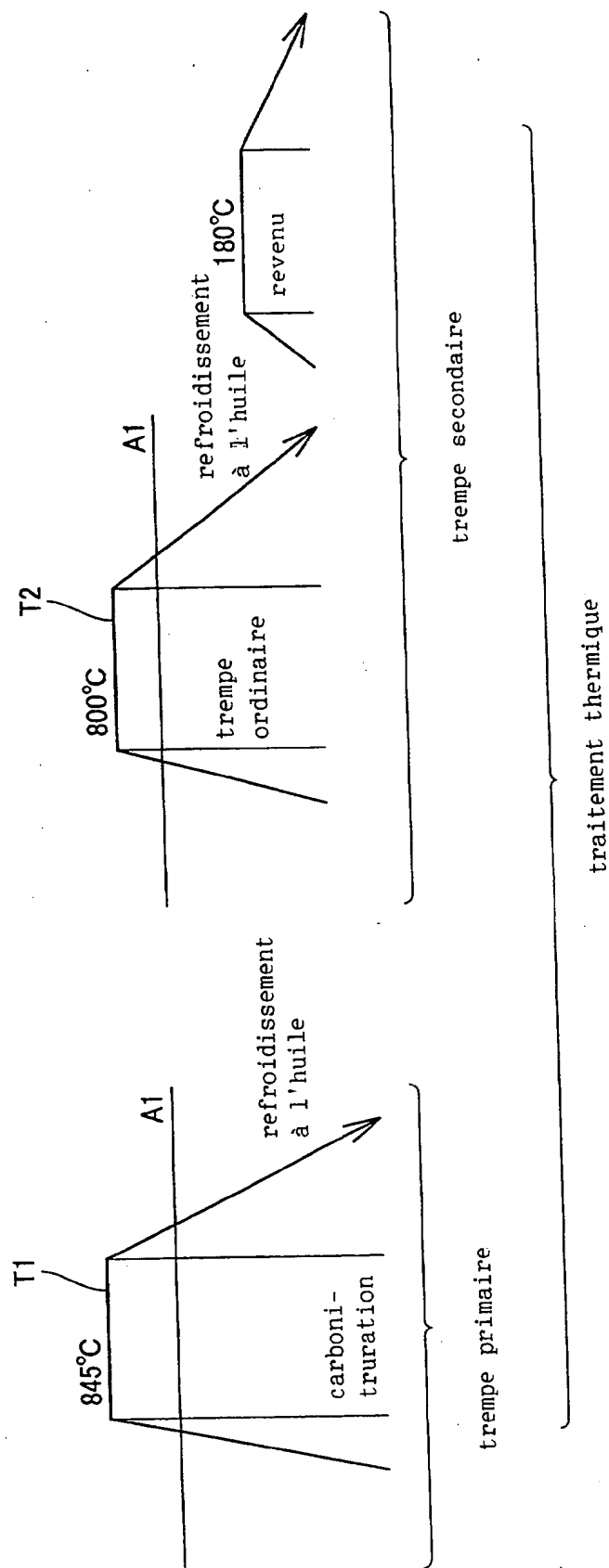


FIG.3

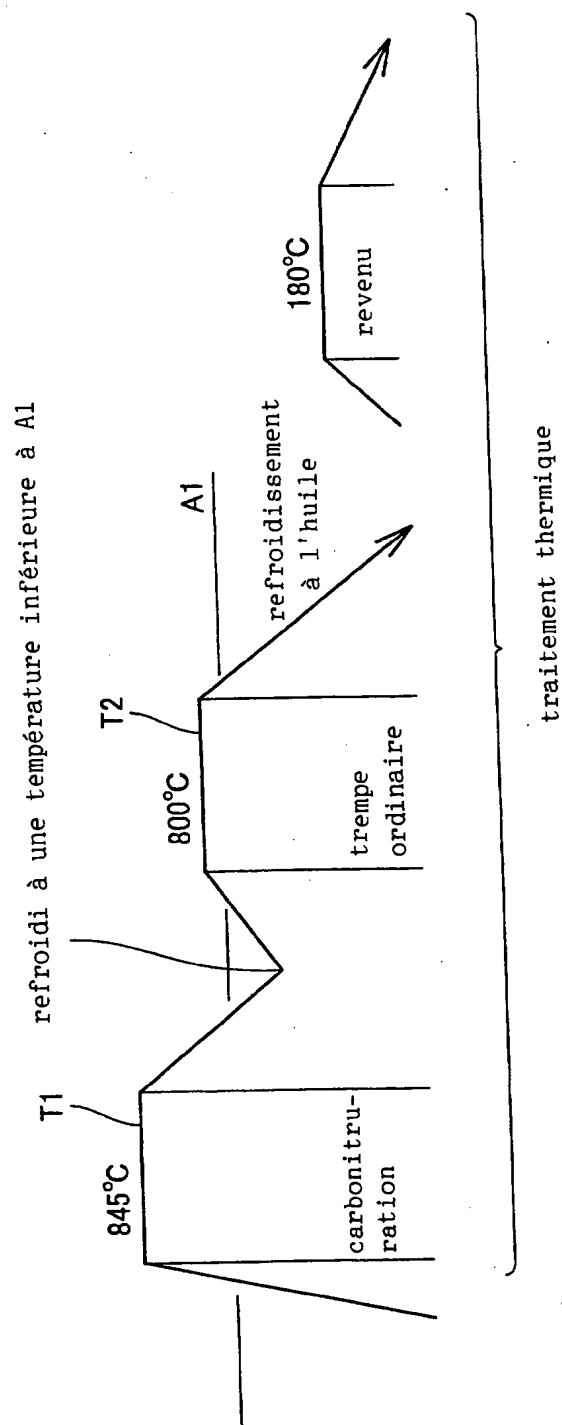


FIG.4A

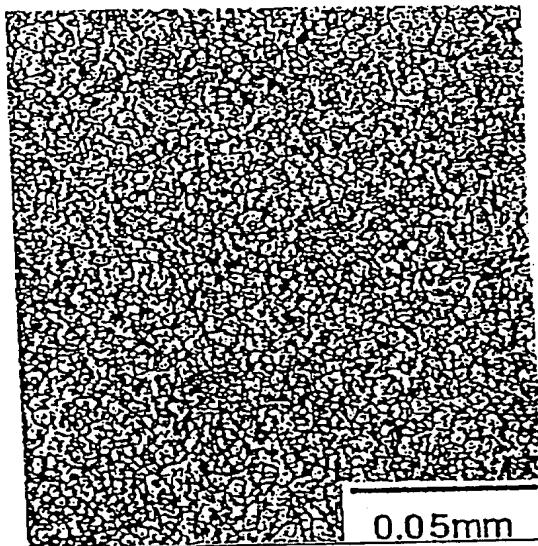


FIG.4B

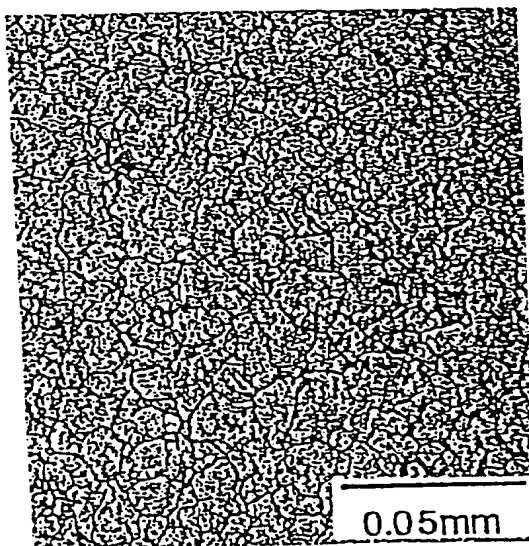


FIG.5A

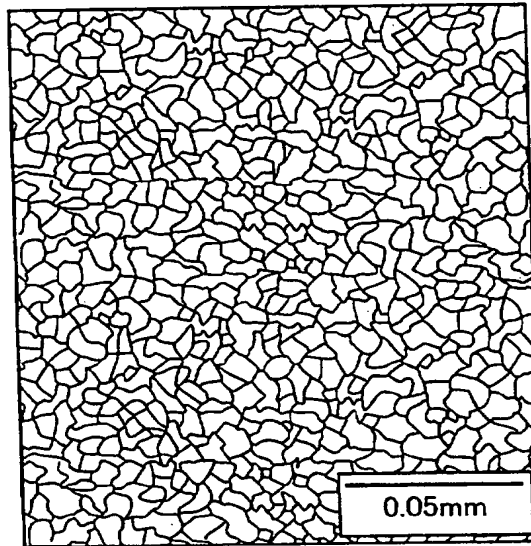


FIG.5B

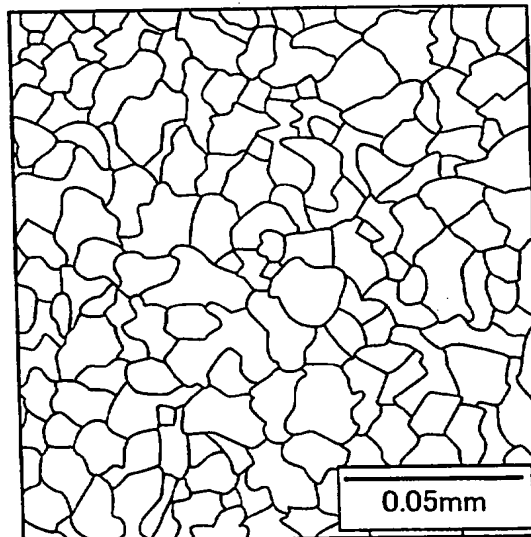


FIG.6

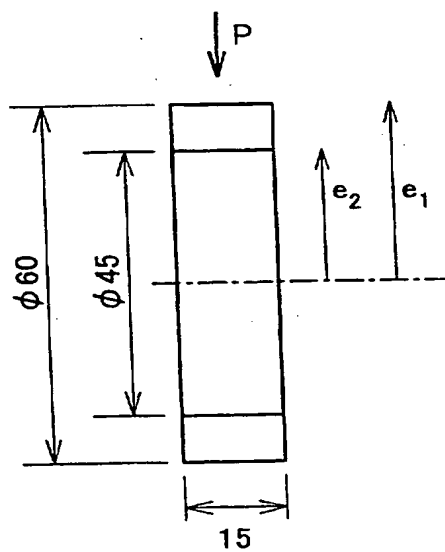




FIG. 7A

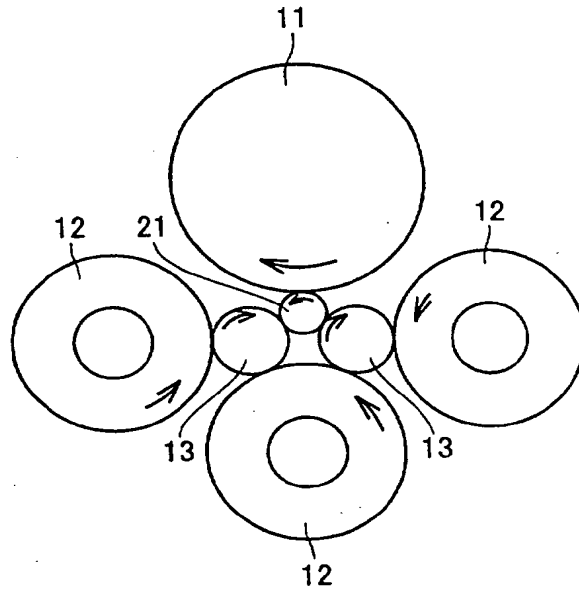


FIG. 7B

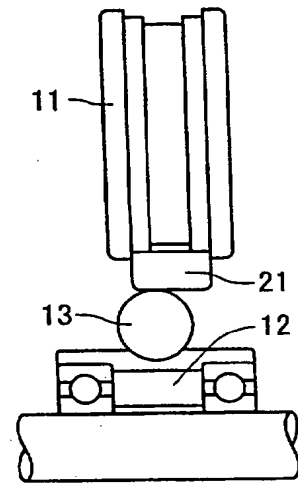


FIG. 8

